

Tecno Lógicas

ISSN: 0123-7799

tecnologicas@itm.edu.co

Instituto Tecnológico Metropolitano
Colombia

Hincapié-Ladino, Eduard A.; Torres-Osorio, Javier I.; Bueno-Lopez, Liliana
Estudio del Efecto de la Estimulación Magnética de Semillas de Leucaena Leucocephala (Lam.) de
Wit

Tecno Lógicas, núm. 29, diciembre, 2012, pp. 33-47
Instituto Tecnológico Metropolitano
Medellín, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=344234330003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

Artículo de Investigación/Research Article

Estudio del Efecto de la Estimulación Magnética de Semillas de *Leucaena Leucocephala* (Lam.) de Wit

Study of the Effect of Magnetic Stimulation of *Leucaena Leucocephala* (Lam.) of Wit Seeds

Eduard A. Hincapié-Ladino¹
Javier I. Torres-Osorio^{2,3}
Liliana Bueno-Lopez⁴

Fecha de recepción: 19 de abril de 2012
Fecha de aceptación: 03 de octubre de 2012

¹ Facultad de Ingenierías, Ingeniería Física, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira-Colombia, eahincapie@utp.edu.co

² Facultad de Ingenierías, Ingeniería Física, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira-Colombia

³ Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Física, Universidad de Caldas, Manizales-Colombia, javier.torres@ucaldas.edu.co

⁴ Escuela de Química, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira-Colombia, lilibu@utp.edu.co

Resumen

Se presenta los resultados de la tercera fase de los experimentos de estimulación magnética estática de semillas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit; trabajo dirigido al mejoramiento de metodologías físicas técnicamente viables, y que se puedan extrapolar a la recuperación de especies vegetales silvestres con potencial de uso. Se realizaron experimentos factoriales utilizando niveles de densidad de flujo magnético (B) de 30; 62,5; 125; 200 y 250 mT, tiempos de exposición entre 0,5 y 60 minutos, número de exposiciones magnéticas 1 y 4 veces, y tiempo transcurrido entre cada una de estas: 24 horas y 7 días. Constatando que en algunas dosis, el campo magnético genera una influencia positiva sobre el desarrollo de las plántulas de *Leucaena*, principalmente afectando la longitud de la raíz, la masa foliar, el porcentaje de nitrógeno y proteína foliar. Los resultados muestran que B tiene mayor influencia que el tiempo de exposición en el tratamiento de semillas para esta especie. La mejor respuesta se dio a 30 mT, y se vislumbra que la acción de la estimulación magnética sobre esta especie presenta un comportamiento acumulativo.

Palabras clave

Estimulación magnética, semillas de *Leucaena Leucocephala*, sistemas silvopastoriles, concentración de nitrógeno.

Abstract

The results of third phase of experiments of seeds magnetic stimulation of *Leucaena leucocephala* (Lam.) of Wit are presented; work aimed to improving physical methodologies technically feasible, and which can be extrapolated to recovery of wild plant species with potential use. Factorial experiments were performed using levels of magnetic flux density (B) of 30; 62,5; 125; 200 y 250 mT, exposure time between 0,5 y 60 minutes, number of magnetic expositions 1 and 4 times, and time between each of these, 24 hours and 7 days. Proving that in some doses the magnetic field generates a positive influence on Leucana plant development, affecting mainly root length, leaf mass and nitrogen percentage. Results show that B has a greater influence than exposure time in seed pretreatment for this species. The better responses were given to 30 mT, and it is detected that the action of magnetic stimulation on this specie presents an accumulative behavior.

Keywords

Magnetic stimulation, *Leucaena Leucocephala* seeds, silvopastoral systems, nitrogen concentration.

1. INTRODUCCIÓN

Las investigaciones sobre los efectos del campo magnético en sistemas vegetales y sus aplicaciones a la agricultura se han venido realizando desde la década del 30 (Galland & Pazur, 2005), y en estos estudios se pueden reconocer tres formas de utilización de estimulación magnética; primero, el tratamiento de las semillas antes de la siembra (Podleśny *et al.*, 2004; De Souza *et al.*, 2005). Segundo, la germinación o crecimiento de las plantas en presencia de campo magnético (Dhawi *et al.*, 2009; Peñuelas *et al.*, 2004), y tercero, riego de las plantas con agua tratada magnéticamente (Maheshwari & Singh, 2009). Aunque este es un tema que presenta auge en algunos países de Europa y América, con mayor apogeo en Cuba, según revisión reportada en (Hincapie, 2011), en Colombia los reportes son pocos (Vásquez *et al.*, 2006; Venegas & Londoño, 2006; Torres *et al.*, 2008; Hincapie *et al.*, 2010).

En el tratamiento de semillas existen variaciones en los estudios con respecto a los niveles de inducción magnética y los tiempos de exposición utilizados. Sobre semillas de arveja (*Pisum sativum*) se realizaron exposiciones con 30 mT y 85 mT, durante 15 segundos en ambos casos (Podleśny *et al.*, 2005), encontrando que las semillas estimuladas germinaron de 2 a 3 días más temprano, el área de las hojas tuvo un incremento del 31% y 36%, y la cosecha en promedio aumentó un 10,6% y 12,5% comparada con las semillas no estimuladas. Semillas de tomate fueron expuestas a densidades de flujo magnético de 125 mT y 250 mT, con tiempos de exposición de 1, 10 y 20 minutos, 1 y 24 horas, y una exposición crónica, hallando una mayor velocidad de germinación para las semillas tratadas magnéticamente, principalmente para los tiempos de exposición prolongados (Martínez *et al.*, 2009).

Por medio de la estimulación magnética de sistemas vegetales, se busca que el efecto genere una respuesta que permita alcanzar un mejor comportamiento para una mayor producción con buena calidad, por lo que las diferentes características físicas, medioambientales y biológicas involucradas en los experimentos deben ser precisadas (definición de una dosis). En algunas investigaciones, se utilizan pocos niveles de densidad de flujo magnético y tiempos de exposición (Podleśny *et al.*, 2004; Podleśny *et al.*, 2005; Martí-

nez *et al.*, 2000); lo cual dificulta una completa caracterización de los factores involucrados, y no permite una visualización de la tendencias de las investigaciones.

Partiendo del panorama presentado, se quiso determinar el efecto del tratamiento magnético en semillas de *Leucaena Leucocephala* (Lam.) de Wit para la mejora de algunas características morfológicas (longitud del tallo, raíz y masa foliar) y químicas (porcentaje de proteína), y avanzar en la identificación de los factores más relevantes en el tratamiento de semillas con campo magnético estático. Todo esto dirigido a tener mayor productividad en esta leguminosa forrajera.

2. MÉTODOS Y MATERIALES

Para realizar un correcto tratamiento magnético se siguió una metodología que fue el resultado del análisis de los reportes de (Valberg, 1995; Pietruszewski *et al.*, 2007) y del estudio de las variables físicas involucradas, buscando unificar los criterios para este tipo de experimentos.

La estimulación se realizó con campo magnético estático, generado por un electroimán Phylatex con rango entre 0 y 1.600 mT \pm 0,08 %, con núcleos circulares de 9,0 cm de diámetro y una separación entre estos de 10,0 cm. Este dispositivo es alimentado con una fuente de corriente Agilent DC 80. El espacio donde se posicionan las semillas es de 13 cm² de base por 2 cm de alto, presentándose para este volumen una homogeneidad en la densidad de flujo magnético del 96%, dato determinado según la caracterización espacial del electroimán.

Los niveles de los factores independientes (factores fijos) utilizados en cada uno de los tres experimentos factoriales, determinados a partir de la revisión realizada por (Hincapié, 2011), así como las condiciones de la siembra se muestran en la Tabla 1.

Las semillas de *leucaena* fueron suministradas por Semicol Ltda. (Bogotá, Colombia), quienes aseguran uniformidad en sus características. La siembra se realizó inmediatamente terminado el tratamiento magnético. El proceso de germinación y crecimiento de las plántulas se efectuó en el vivero de la Universidad Tecnoló-

gica de Pereira en condiciones de invernadero, con temperatura y fotoperiodo natural; el riego se estableció por agotamiento de agua en el suelo (cada dos días), suministrando la misma cantidad a cada una de las plántulas. Para todos los experimentos factoriales se usó un grupo de semillas sin exposición magnética como control. La evolución de los valores para los factores utilizados se refinó con cada experimento como se expone en la Tabla 1, para la prueba 3.

Las variables morfológicas se midieron inmediatamente la plántula fue extraída del suelo; las longitudes se determinaron utilizando un pie de rey digital Mitutoyo con resolución 0,01 mm. La raíz fue medida a partir del cuello hasta la cofia, y el tallo se midió desde el cuello hasta el cotiledón. La masa foliar fue medida con una balanza digital SHIMADZU con resolución 0,01 g. El contenido de proteína foliar se obtuvo a partir de la medida del nitrógeno con el método semimicro Kjeldahl, con tres muestras para cada uno de los tratamientos.

Para la interpretación de los datos se utilizó el software SPSS para Windows, realizando análisis de varianza (ANOVA), para probar las hipótesis concernientes a los efectos principales de los factores utilizados y el efecto de interacción a través de la hipótesis nula H_0 y la hipótesis alternativa H_1 , en el momento que las hipótesis nulas H_0 y H_1 son desmentidas en el análisis de varianza con un nivel de significación $\alpha < 0,05$, se comprende que el promedio en algún tratamiento es diferente de los otros. Para saber cuales son las medias que difieren específicamente se realizaron comparaciones múltiples con el método de Bonferroni, debido que este no es tan sensible al tamaño de la muestra. Para el segundo experimento se realizó un análisis no paramétrico con la prueba Kruskall-Wallis, debido a que los datos no cumplieron la condición de normalidad.

Tabla 1. Datos relacionados con la dosis y condiciones de siembra para los tres experimentos. Tiempo de exposición (T_{exp}), densidad de flujo magnético (B), número de exposiciones magnéticas (Nr) y tiempo transcurrido entre cada una de las exposiciones (T_e). Fuente: Autores

No.	B (mT)	T_{exp} (min)	Nr	T_e	Semillas por tratamiento	Siembra	Toma de medidas
1	125, 250	10, 30, 60	4	24 horas y 7 días	80	Directamente en bolsas	16 días después la exposición
2	125, 250	10, 20, 30, 40, 60	(1 y 4) veces	24 horas	100	Directamente en bolsas	30 días después de la exposición
3	30; 62,5; 125; 200; 250	0,5; 1; 3; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 60	0	—	80	Germinación (10 días), luego trasplantadas a bolsas	15 días después de estar en bolsas

3. RESULTADOS

3.1 Primer Experimento

Se halló que para la longitud del tallo no existen diferencias significativas respecto al control en ningún grupo definido por los factores fijos. En el caso de la longitud de la raíz, el factor T_e presenta diferencias respecto al grupo de control, denotando que es una variable preponderante en el tratamiento magnético de semillas; por otro lado para las interacciones entre B y T_{exp} ; B y T_e se encontró que tienen un efecto significativo. Luego de conocer los efectos principales, se determinó que existen diferencias significativas para el factor 125 mT entre los grupos definidos con las dosis 10 min/24 horas y 10 min/7 días, así como 30 min/24 horas y 30 min/7 días, pero no se identificaron diferencias con respecto al grupo de control, indicando esto, inicialmente, que el efecto de la estimulación magnética es acumulativo, pero este puede ser adverso o benéfico dependiendo de las combinaciones de los factores (ver Fig. 1). Para el incremento de la longitud de la raíz se presen-

tó una mejor respuesta a una exposición con repeticiones cada 24 horas.

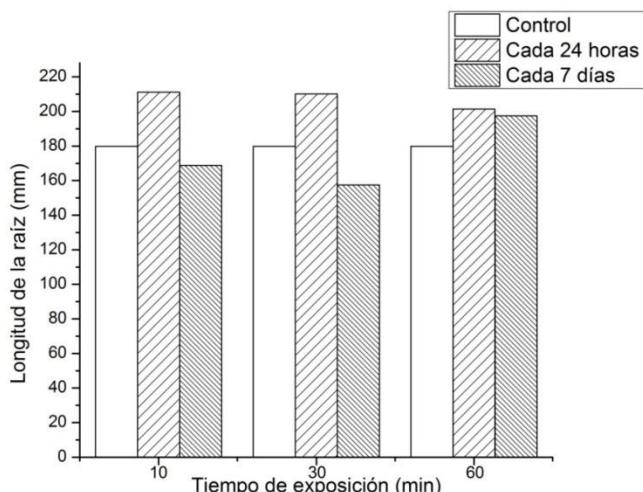


Fig. 1. Longitud de la raíz para semillas expuestas a 125 mT, para tiempos entre las exposiciones de 24 horas y 7 días. Fuente: Autores.

3.2 Segundo Experimento

Para la longitud del tallo el grupo control presentó una longitud promedio de 29,36 mm y, para el tratamiento 125mT/10 min/ 4 exposiciones la longitud promedio fue de 39,58 mm, siendo esta la más alta entre todos los grupos; pero, no se observaron diferencias significativas ($\alpha < 0,05$) entre los diferentes tratamientos y el grupo control.

La longitud de la raíz presentó diferencias significativas en los factores T_{exp} y Nr ; específicamente las diferencias se hallaron en los promedios de los grupos definido por los tiempos de exposición de 10 y 40 minutos, en comparación al grupo de control.

La masa foliar presentó diferencias significativas entre los grupos que fueron expuestos cuatro veces y los de una sola exposición, además, se encontraron diferencias comparando la masa del grupo control (0,19 g) y los grupos expuestos 125mT/10min y 250mT/10min con cuatro exposiciones magnéticas (0,28 y 0,34 g)

respectivamente (ver Fig. 2). En este experimento la masa foliar se muestra dependiente de las veces que las semillas fueron expuestas, debido a que se logró una mejora para 4 exposiciones con respecto a los otros grupos, lo cual indica que este factor se debe tomar en cuenta para futuras investigaciones.

3.3 Tercer Experimento

Para la longitud del tallo únicamente los grupos definidos por el factor inducción magnética tuvieron longitudes medias diferentes, también se presenta un efecto de interacción entre los factores campo magnético y tiempo de exposición. En promedio los grupos que mostraron diferencias significativas con respecto al grupo control fueron 30, 62,5, 125 y 250 mT. En la Tabla 2 se muestran los grupos para los cuales las longitudes del tallo presentaron diferencias respecto al grupo de control.

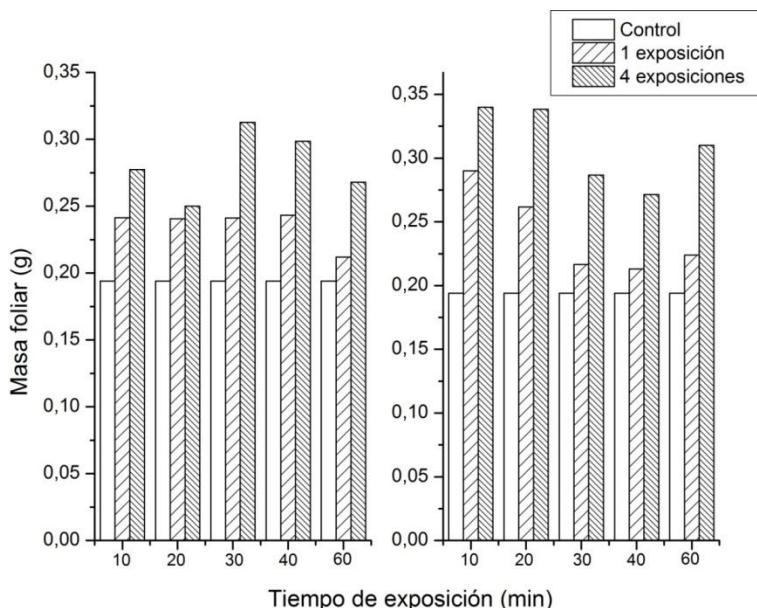


Fig. 2. Masa foliar para semillas expuestas 125 mT y 250 mT, izquierda y derecha respectivamente, para semillas expuestas 1 y 4 veces. Fuente: Autores

Tabla 2. Longitudes del tallo que presentaron diferencias significativas con respecto al grupo control ($\alpha < 0,05$). Fuente: Autores

B (mT)	T _{exp.} (min)	Longitud del tallo (mm)
0	0	37,17
	0,5	46,59
30	5	45,89
	20	47,33
125	10	48,77
	25	46,89
250	15	52,36

Respecto a la longitud de la raíz, se encontró que la densidad de flujo magnético tiene un efecto significativo, y se halló una interacción entre los factores utilizados. En términos generales el grupo de 30 mT mostró diferencias significativas en relación al grupo de control. Tras realizar comparaciones múltiples se halló que solamente se diferencia el grupo de 250 mT/30 min con una longitud promedio de 35,98 mm, respecto al grupo de control (143,53 mm), en este caso la influencia del tratamiento magnético es una fuerte disminución de la variable medida, catalogándose como un efecto negativo de la dosis utilizada.

Para la masa foliar, igual que para las otras dos variables morfológicas, B tiene un efecto sobre la masa promedio, pero en este caso no existe interacción entre las variables. De nuevo el factor 30 mT muestra diferencia significativa comparada con el grupo control. Específicamente el tratamiento de 30 mT/10 min con una masa promedio de 0,49 g (grupo control 0,31 g). En las medidas del porcentaje de proteína de las plántulas (Tabla 3), no se realizó análisis de varianza, ya que solo se cuenta con un dato por tratamiento, generando esto que no se presenten los valores de incertidumbre en la medida; los resultados presentados se darán como un porcentaje de variación con respecto al contenido de proteína del grupo control (29,17 %).

Opuesto a lo hallado para las otras variables dependientes, se presentó una disminución para 30 mT, también presentándose variaciones negativas en otros dos tratamientos. Existen cuatro grupos para los cuales el aumento del porcentaje de proteína es

mayor al 31% con respecto al control, mostrando cambios abruptos como se nota en los grupos de 200 mT (20 minutos y 25 minutos), ver Tabla 3.

Tabla 3. Porcentaje de variación de la proteína con respecto al grupo control.
Fuente: Autores

B (mT)	T _{exp.} (min)	Variación
Aumento de la proteína respecto al grupo control		
125	25	42,54 %
200	20	39,53 %
62,5	30	38,09 %
200	5	31,98 %
Disminución de la proteína respecto al grupo control		
30	15	- 55,54 %
62,5	0,5	- 48,17 %
200	25	- 31,68 %

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En el momento de comparar los resultados obtenidos con otras investigaciones, se llega a una dificultad causada por la variación de las características de los factores independientes usados. En ciertos tratamientos la longitud del tallo respondió de una manera significativa a los factores fijos, en concordancia con lo reportado por (Flórez *et al.*, 2007; Martínez *et al.*, 2000), aunque en algunos casos se presentó una disminución de las características medidas.

Respecto a la longitud de la raíz se presentó un aumento, que permite inferir que mediante el mejoramiento y aplicación de este método se podría acelerar el proceso de crecimiento de esta leguminosa forrajera, debido a que parte de las funciones de este órgano consisten en sujetar la planta al suelo, succionar agua y

minerales necesarios para el sostenimiento de la planta (Ville, 1996); además, podría posibilitar una mayor cantidad de nódulos en las raíces y aumentar la capacidad de fijación de nitrógeno al suelo. Aunque en el tercer experimento se observó una disminución en esta longitud, caso similar a lo reportado por (Vashisth & Nagarajan, 2010). El aumento en la masa foliar es de gran importancia debido a que la hoja es el órgano más adecuado para evaluar el estado nutricional de la planta, pues expresa una mayor actividad metabólica, siendo centro fotosintético que proporciona a la planta energía necesaria para llevar a cabo sus procesos, como lo propone Marín *et al.* (1999); indicando que la estimulación magnética puede hacer más productiva esta leguminosa.

En el trópico es conocido el papel de las leguminosas, como la *Leucaena leucocephala*, en la producción animal y su aporte en el pastizal, el cual está representado por la capacidad que poseen estas plantas de fijar el nitrógeno atmosférico al suelo y posteriormente favorecer el crecimiento de las gramíneas acompañantes e incrementar su contenido de proteína bruta (Lamela *et al.*, 2001).

La suplementación proteica a base de leguminosas tropicales reduce considerablemente los costos de alimentación en el ganado, especialmente en el ciclo productivo (preñez avanzada, inicio de lactación y crecimiento) donde el animal aumenta sus requerimientos por lo que se comprobó el valor nutritivo y digestibilidad de la *leucaena* para el ganado (García *et al.*, 1994). Aunque se observan diferencias entre los tratamientos, no se conocen si estas son diferencias significativas, lo que sí es de resaltar es la importancia del aumento en el porcentaje de nitrógeno, contribuyendo de esta manera la exposición de las semillas a campo magnético, a una mayor nutrición para el ganado primer beneficiado con *Leucaena Leucocephala*.

Para el comportamiento de las variaciones en el porcentaje de proteína, no se ha encontrado una dependencia lineal entre los factores de exposición y la respuesta encontrada, lo que sugiere que se puede presentar un fenómeno similar a lo expuesto por Funk *et al.* (2010), que plantea que la exposición a campo magnético AC, presenta «ventanas de frecuencia», fenómenos en los cuales

se da una mayor estimulación, aunque las densidades de flujo magnético sean bajas.

En el tercer experimento para las variables morfológicas, la densidad de flujo magnético tuvo mayor influencia y el tiempo de exposición solo presenta interacción con el campo magnético en la longitud de la raíz; indicando esto que el valor de la densidad de flujo magnético es más relevante que el tiempo de exposición para afectar características de este tipo.

En términos generales, desde una perspectiva amplia se propone seguir dos caminos: primero, continuar con el estudio de la estimulación de semillas y plantas, buscando los tratamientos correctos para una aplicación agrícola; segundo, la búsqueda interdisciplinaria de las estructuras celulares o moleculares que son activadas con la exposición a campo magnético y llegar a un mayor entendimiento desde un punto de vista teórico. Debido al desconocimiento de los mecanismos de acción que activa la estimulación magnética en los sistemas biológicos, no se pueden extraer resultados entre las densidades de flujo magnético, puesto que no se reportan resultados de una correlación específica, entre el campo magnético y las variables dependientes.

5. CONCLUSIONES

Se determinó que el tratamiento de semillas con campo magnético estático homogéneo presenta un efecto positivo sobre las variables medidas en plántulas de *Leucaena Leucocephala*. Siendo la densidad de flujo magnético de 30 mT, la que presentó una mayor influencia sobre las semillas. Además, se infiere que es la densidad de flujo magnético la variable preponderante a tener en cuenta en el diseño de experimentos de este tipo.

El método utilizado basado en la magnetobiología sugiere una alternativa para mejorar las características físicas y bioquímicas de esta especie, pero no se presenta un único tratamiento que permita la mejora de todas las variables con una dosis específica; por lo que se debe realizar experimentos con un número mayor de variables independientes (dosis), con el apoyo de métodos compu-

tacionales que proyecten cuáles son las relaciones entre las variables de entrada y salida.

El aumento de la cantidad de nitrógeno y por ende de proteína, deja como perspectiva el estudio de las plantas en edad productiva, para verificar si el incremento se mantiene igual que en las plántulas, y así proporcionar un importante impacto en la productividad de esta leguminosa forrajera.

6. REFERENCIAS

Dhawi, F., Al-Khayri, J. & Hassan, E. (2009). Static magnetic field influence on elements composition in date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 5(2), 161–166.

Flórez, M., Carbonell, M. V. & Martínez, E. (2007). Exposure of maize seeds to stationary magnetic field: effects on germination and early growth. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 68–75.

Funk, R., Monsees, T. & Ozkucur, N. (2009). Electromagnetic effects – from biology to medicine. *Progress in Histochemistry and cytochemistry*, 43, 177-264.

Galland, P. & Pazur, A. (2005). Magnetoreception in plants. *J. Plant Res*, 118, 371–389.

García de H.M., Sánchez, J., Colmenárez, M.R. & Sierralta, R. (1994). Suplementación a corte de *Leucaena Leucocephala* sobre la producción de leche en vacas mestizas de doble propósito en el valle de Aroa. Venezuela, *Zootecnia Trop.*, 12(2), 148-160.

Hincapie, E., Torres J. & Bueno, L. (2010). Efecto del campo magnético sobre la germinación de la *Leucaena leucocephala*. *Scientia et Technica*, 44, 337-341.

Hincapie, E. (2011). *Influencia del campo magnético estático homogéneo en el desarrollo de semillas de Leucaena Leucocephala (lam)*. Tesis pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ingenierías, Pereira, Colombia.

Lamela, L., Matías, C., Fung, C & Valdés, R. (2001). Efecto del banco de proteína de Leucaena en la producción de leche, Pastos y Forrajes, 24(3), 259-264.

Maheshwari, B. L. & Singh, H. (2009). Magnetic treatment of irrigation water: its effects on vegetable crop yield and water productivity. *Agricultural water management*, 96, 1229–1236.

Marín, M., Rendiles, E., Ekmeiro, L., González, J., Primer, J. & Casanova, A. (1999). Relación entre el contenido de nitrógeno foliar y la producción del guayabo (*Psidium guajava* L.). *Revisa Facultad de Agronomía*, 16(1), 17-22.

Martínez, E., Carbonell, M. V. & Amaya, J. M. (2000). A static magnetic field of 125 mT stimulates the initial growth stage of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Electro and magnetobiology*, 19(3), 271–277.

Martínez, E., Carbonell, M. V., Flórez, M., Amaya, J M. & Maleda, R. (2009). Germination of tomato seeds (*Lycopersicon esculentum* L.) under magnetic field. *International. Agrophysics*, 23, 45–49.

Peñuelas, J., Llusia, J., Martínez, B. & Fontcuberta, J. (2004). Diamagnetic susceptibility and root growth response to magnetic field in *Lens culinaris*, *Glycine soja* and *Triticum aestivum*. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 23(2), 97–112.

Pietruszewski, S., Muszynski, S. & Dziwulska, A. (2007). Electromagnetic field and electromagnetic radiation as non-invasive external stimulation for seeds (selected methods and responses). *International Agrophysics*, 21, 95–100.

Podleśny, J., Pietruszewski, S. & Podleśna, A. (2004). Efficiency of the magnetic treatment of broad bean seeds cultivated under experimental plot conditions. *International Agrophysics*, 18, 65–71.

Podleśny, J., Pietruszewski, S. & Podleśna, A. (2005). Influence of magnetic stimulation of seeds on the formation of morphological features and yielding of pea. *International Agrophysics*, 19, 61–68.

De Souza, A., García, D., Sueiro, L., Licea, L. & Porras, E. (2005). Pre-sowing magnetic treatment of tomato seeds: effects on the growth and yield of plants cultivated late in the season. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 3(1), 113–122.

Torres, C., Días, J. E. & Cabal, P. A. (2008). Efecto de campos magnéticos en la germinación de semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Agronomía Colombiana*, 26(2), 177–185.

Valberg, P. A. (1995). Designing EMF experiments: What is required to characterize 'exposure'? *Bioelectromagnetics*, 16, 396–401.

Vashisth, A. & Nagarajan, S. (2010). Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology*, 167(2), 149–156.

Vásquez, A., Gómez, M., Segura, B. & Rosales, A. (2006). Efectos de campo magnéticos en material orgánico. *Revista Colombiana de Física*, 38(3), 1307–1310.

Venegas, A. & Londoño, H. (2006). Efecto del campo magnético (B) sobre el crecimiento de las plantas. *Revista Colombiana de Física*, 38(2), 942–945.

Ville, C. (1996). *Biología General*, 8º edición, McGraw-Hill, México.